

**Янковский Леонид Вацлавович**

**Yankovsky Leonid Vaslavovich**

ФГБОУ ВПО «Пермский национальный исследовательский политехнический университет» (ПНИПУ). Россия,

Perm National Research Polytechnic University (PNRPU).

Канд. техн. наук, доцент

Cand.Tech.Sci., the senior lecturer

05.23.01 Строительные конструкции, здания и сооружения

E-Mail: yanekperm@yandex.ru

### **Рентгено- и дифференциально-термический анализ цементобетонных конструкций после тепловлажностной обработки**

The X-ray and differential thermal analysis of concrete designs after warm damp processing

**Аннотация:** Приведены результаты рентгено- и дифференциально-термического анализа дорожных конструкций после тепловлажностной обработки. На основе проведенных исследований установлено, что качественный состав новообразований под воздействием климатической среды не меняется. Пропаренные образцы бетонных конструкций и образцы нормального предварительного твердения, отличающиеся начальной структурой, по разному сопротивляются негативному воздействию климатической среды. Дефекты, приобретенные в процессе, пропарки, под воздействием климата развиваются. Деструкция наружных слоев образцов бетонных конструкций сопровождается развитием дефектов и во внутренних слоях.

**The Abstract:** Results of the X-ray and differential thermal analysis concrete of road designs after warm damp processing are given. On the basis of the carried-out researches it is established that the qualitative structure new educations under the influence of the climatic environment doesn't change. The samples of concrete designs processed by steam and samples of the normal preliminary solidification, differing initial structure, on a miscellaneous resist to negative impact of the climatic environment. The defects acquired in process, influences by steam, under the influence of climate develop. Destruction of external layers samples of concrete designs is accompanied by development of defects and in inside layers.

**Ключевые слова:** Бетон, гидратация, твердение, воздействие климата.

**Keywords:** Concrete, hydration, solidification, climate influence.

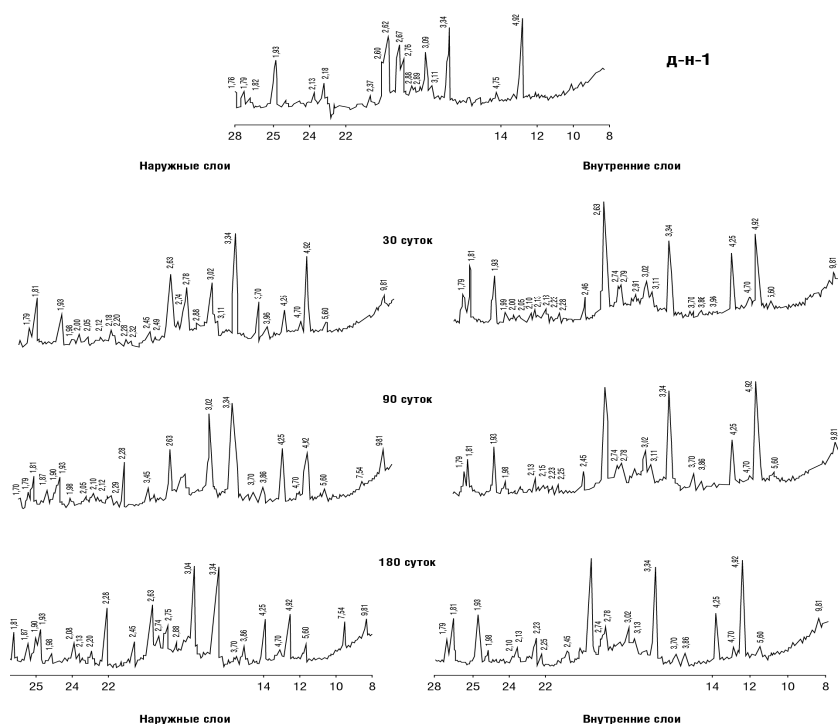
\*\*\*

Известно, что климатическое воздействие оказывает сильное влияние на долговечность конструкций и сооружений из цементного бетона и это необходимо учитывать при проектировании. Воздействие периодически изменяющихся параметров суровой климатической среды на бетонные конструкции способствует их разрушению, что приводит к снижению долговечности [1, 2, 3]. Объем уже построенных и эксплуатирующихся в условиях воздействия агрессивного климата сооружений из бетона и железобетона значителен и растет с каждым годом, и, соответственно, растет объем ремонтно-восстановительных работ, требующих вложения значительных средств. Последствия длительного воздействия климата на структуру и свойства бетонов приготовленных по традиционным и новым технологиям изучены недостаточно полно. Расчёта долговечности цементного бетона как проектируемых, так и строящихся

и эксплуатируемых конструкций и сооружений не существует. Обычно долговечность подменяется морозостойкостью, которая, по мнению учёных РФ, является основным показателем качества бетона, предопределяющим долговечность железобетонных конструкций, эксплуатируемых в условиях попеременного замораживания – оттаивания в водонасыщенном состоянии [4, 5].

Одним из вопросов для составления представления об определении долговечности бетона конструкций, является на вопрос - как происходит деструкция наружных слоев образцов бетонных конструкций и во внутренних слоях.

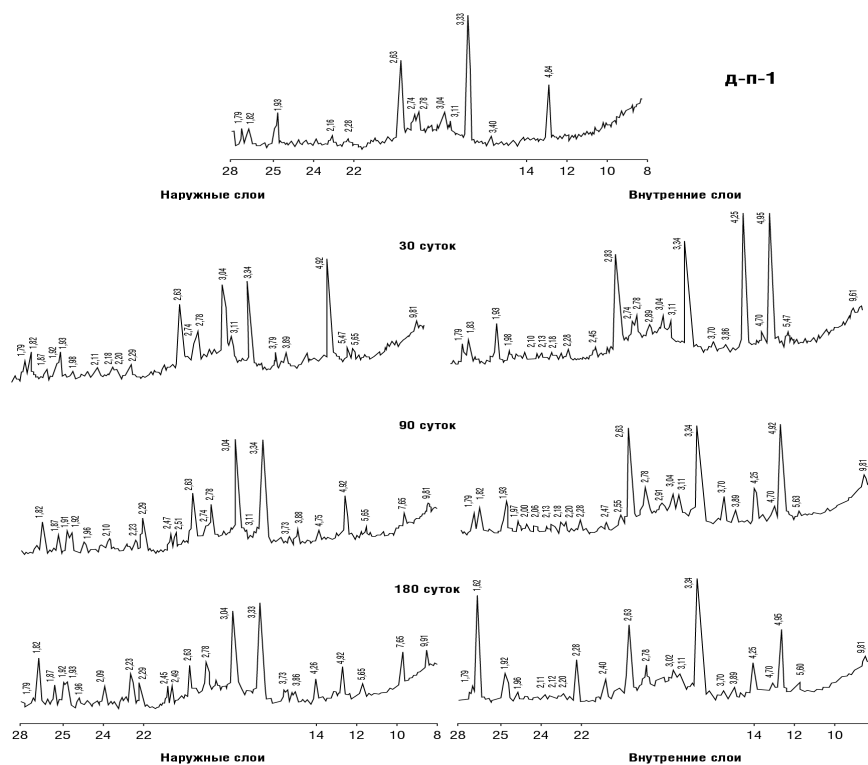
Для идентификации продуктов твердения цемента, а также для качественной оценки скорости и глубины гидратации вяжущего использовали рентгено- и дифференциально-термические анализы (рис. 1).



**Рис. 1.** Рентгенограммы вяжущей части растворных образцов

Рентгенограммы вяжущей части образцов, твердевших в различных условиях предварительного хранения вполне соответствуют результатам химико-аналитического исследования.

Так, на рентгенограммах вяжущей части пропаренных цементно-песчаных образцов, хранившихся предварительно сутки во влажно-воздушной среде (рис. 2), обнаруживаются линии межплоскостных максимумов:  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  (4,92; 2,63; 1,93; 1,79 А и др.),  $\text{CaCO}_3$  (3,04; 1,92; 1,82 А и др.) и негидротированных минералов портландцементного клинкера  $\text{C}_3\text{S}$  и  $\text{C}_2\text{S}$  (2,78; 2,74; 2,28; 2,18 А).



**Рис. 2.** Рентгенограммы вяжущей части растворных образцов

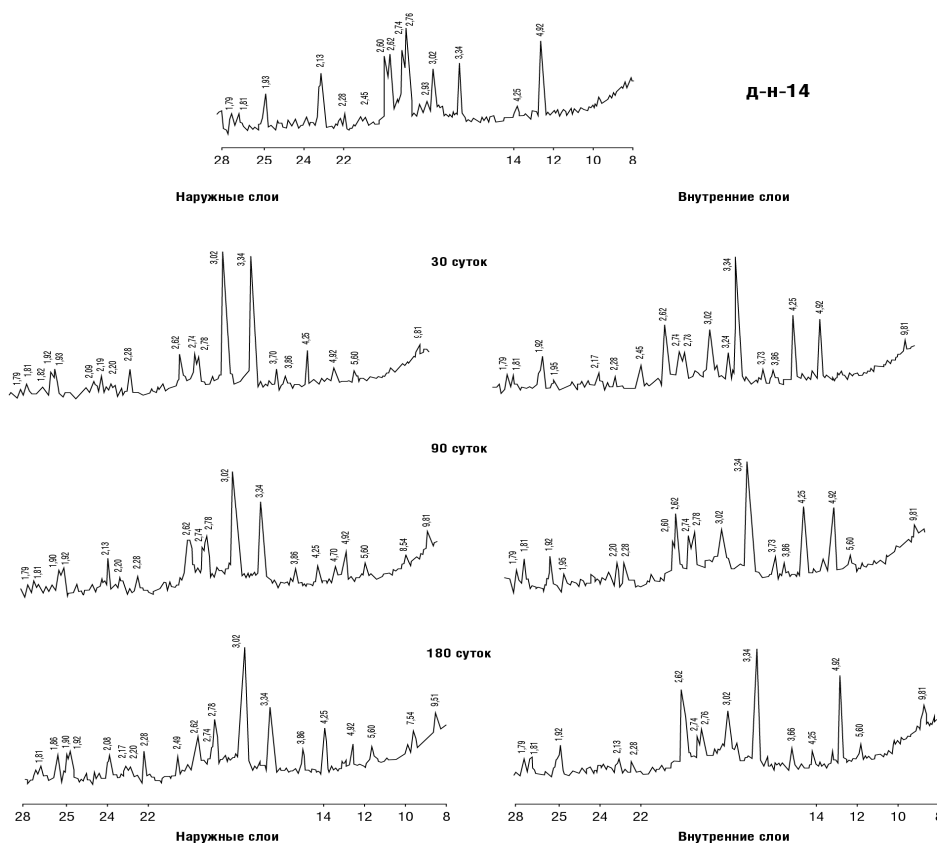
Рентгенограммы вяжущей части образцов, хранившихся в растворе сернокислого натрия, отличаются от рентгенограмм образцов, хранившихся во влажной среде, наличием межплоскостных максимумов этtringита (гидросульфoалюмината кальция) и двуводного гипса, а также уменьшением и увеличением интенсивности линий межплоскостных максимумов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ , кварца и негидротированных минералов портландцементного клинкера.

Линии межплоскостных максимумов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  к первому месяцу твердения образцов в 3%-ном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  усиливаются, а при дальнейшем твердении в растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  наблюдается уменьшение интенсивности этих линий, особенно в пробах, отобранных из наружных слоев образца.

С течением времени твердения наблюдается уменьшение интенсивности линий негидротированных клинкерных материалов. На рентгенограммах проб наружных слоев образцов обнаружены линии кальцита сравнительно высокой интенсивности. Характерно, что эти линии с течением времени усиливаются. Следует отметить, что линии гидросульфoалюмината кальция (9,81; 5,60А и др.) в полном соответствии с химическим анализом по мере увеличения продолжительности твердения в растворе усиливаются (особенно в наружных слоях образцов).

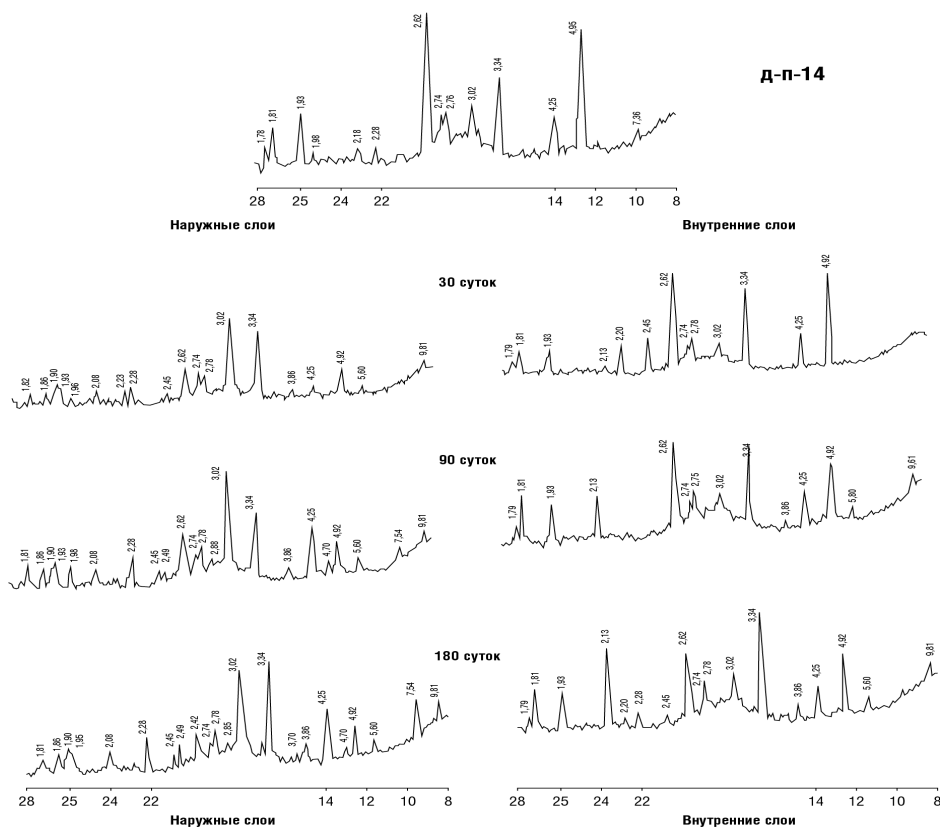
На рентгенограмме наружных слоев образцов 3 и 6 месяцев твердения в растворе сернокислого натрия появляются линии межплоскостных максимумов, характерные для двуводного гипса (7,65; 4,26А и др.).

На рентгенограммах внутренних слоев образцов линии двуводного гипса отсутствуют. Отсутствие двуводного гипса во внутренних слоях образцов объясняется малым количеством поступающих ионов  $\text{SO}_4^{2-}$ . Из-за наличия свободных гидроалюминатов, поступающие ионы  $\text{SO}_4^{2-}$ , расходятся лишь на образование и кристаллизацию гидросульфoалюмината кальция. Уменьшение содержания  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в образцах указывает на взаимодействие его с ионами  $\text{SO}_4^{2-}$  с образованием гипса и гидросульфата.



**Рис. 3.** Рентгенограммы вяжущей части растворных образцов

Рентгенограммы проб вяжущей части пропаренных образцов, хранившихся 14 суток под воздействием климата и далее в 3%-ном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (рис. 3, 4), по составу возникающих в процессе гидратации новообразований вполне соответствуют рентгенограммам проб образцов влажно-воздушного предварительного твердения и отличаются лишь интенсивностью линий межплоскостных максимумов  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ , гипса, гидросульфата алюмината кальция и негидротированных минералов портландцементного клинкера.



**Рис. 4.** Рентгенограммы вяжущей части растворных образцов

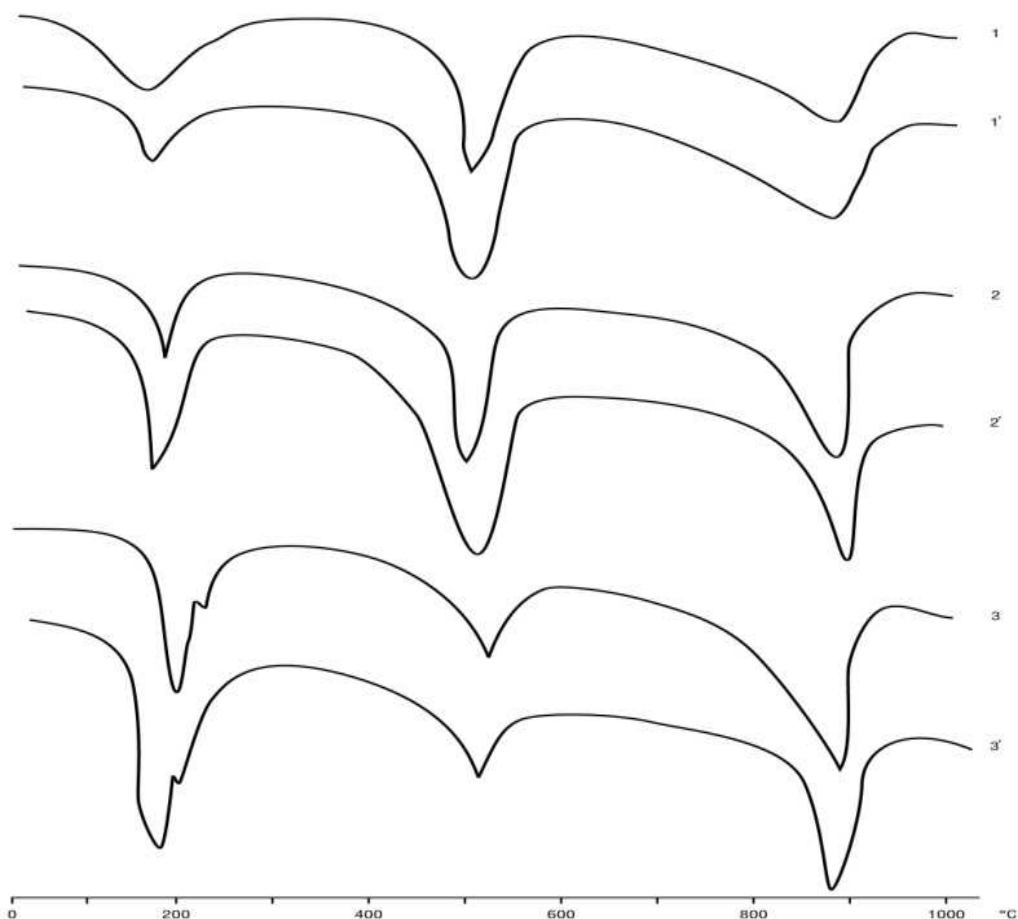
Рентгенограммы вяжущей части образцов 90 суточного предварительного твердения на солнце и далее в 3%-ном растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  по составу и интенсивности линий новообразований вполне идентичны рентгенограмма образцов 14 дневного предварительного твердения под воздействием климата.

Как и следовало ожидать, на рентгенограммах этих проб интенсивность линий  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  несколько меньше, а линий  $\text{CaCO}_3$  значительно больше, чем на рентгенограммах образцов 14 дневного предварительного твердения под воздействием климата.

Рентгенограммы вяжущей части образцов нормального предварительного твердения и хранившихся 14, 90 суток под воздействием климата вполне соответствуют рентгенограммам вяжущей части пропаренных образцов.

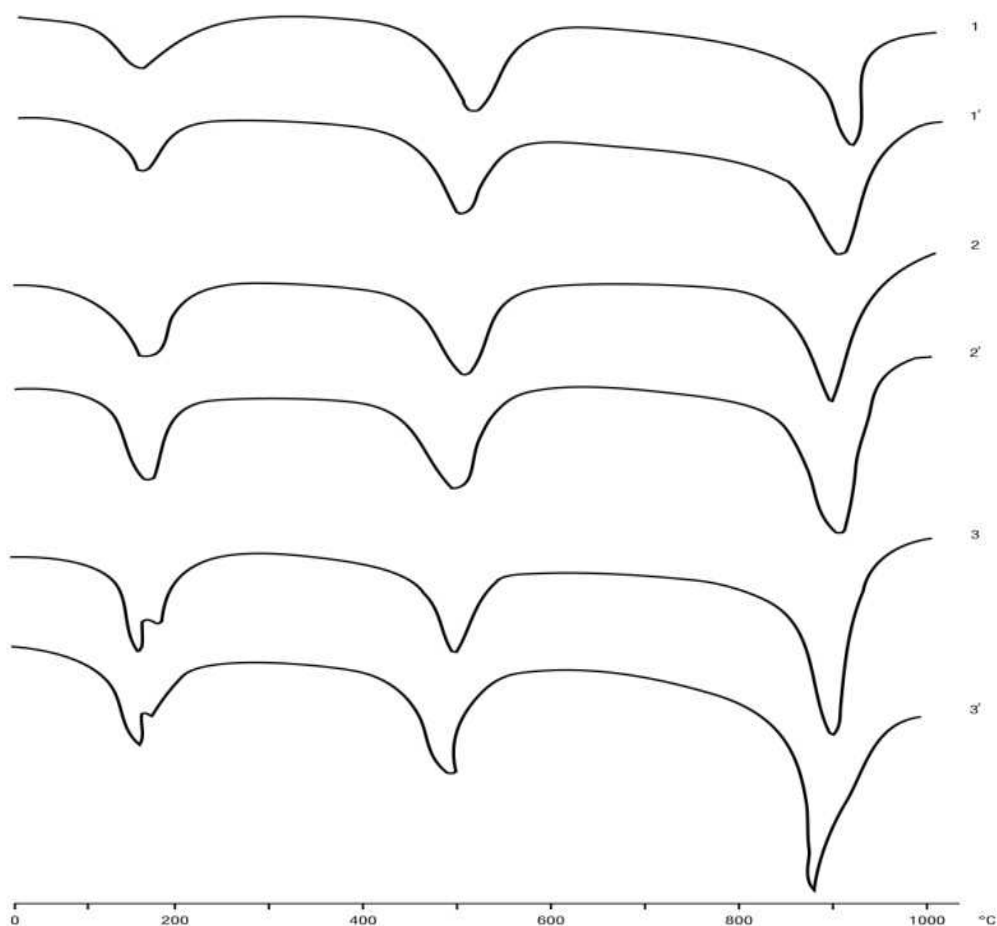
Отличаются они по интенсивности линий  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ,  $\text{CaCO}_3$ , гидросульфатоалюмината кальция, гипса и негидротированных минералов цементного клинкера. Следует отметить, что в пробах образцов нормального твердения, линии, относящиеся к  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ , менее интенсивны, чем линии  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  на рентгенограмме пропаренных образцов.

Кривые ДТА вяжущей части твердевших образцов (рис. 5 и 6) обнаруживают четыре эндотермических эффекта.



**Рис. 5.** Кривые ДТА вяжущей части пропаренных образцов (со штрихом) и образцов нормального твердения (без штриха), хранившихся в 3% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$ : 1, 1' - после суточного твердения; 2, 2' - 1 мес. хранения, а 3, 3' - 6 мес. Хранения

Первый эффект наблюдается в интервале температур 100-200°C с максимумом при 150°C и соответствует дегидратации гидросульфатоалюмината кальция, второй - при 150°C и 180°C относится к ступенчатому выделению связанной воды из двуводного гипса. Третий эффект - в интервале 450-550°C с максимумом при 550°C соответствует разложению  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ . Последний эндоэффект при 800-900°C соответствует разложению углекислого кальция.

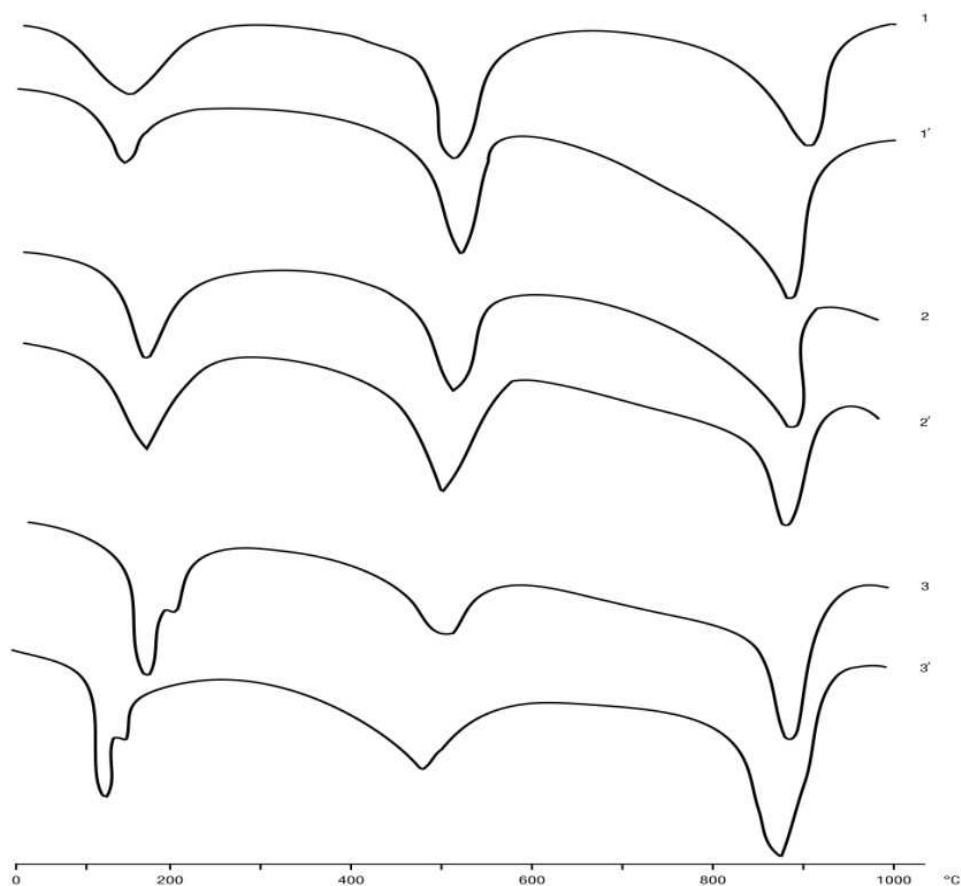


**Рис. 6.** Кривые ДТА вяжущей части пропаренных образцов (со штрихом) и образцов нормального твердения (без штриха), хранившихся 14 суток в условиях климата и далее в 3% растворе  $\text{Na}_2\text{SO}_4$  (номера кривых соответствуют номерам, указанным на рис. 4)

Данные ДТА соответствуют результатам, полученным химико-аналитическим и рентгенографическим методами исследований и убедительно показывают разницу количественного состава, возникающих новообразований  $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ;  $\text{CaCO}_3$ ;  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ;  $3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 3\text{CaSO}_4 \cdot 32\text{H}_2\text{O}$  и др.

Итак, на термограммах образцов, предварительно хранившихся на солнце, эффект дегидратации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  уменьшается, а эффект декарбонизации  $\text{CaCO}_3$  усиливается. (Эффект дегидратации  $\text{Ca}(\text{OH})_2$  в пропаренных образцах несколько больше, чем на термограммах образцов нормального предварительного твердения (рис. 5), что указывает на более глубокую гидратацию клинкерных материалов  $\text{C}_3\text{S}$  и др.).

Интересно отметить, что эндоэффект, относящийся к дегидратации гидросульфата алюмината кальция в образцах 14 дневного хранения под воздействием климата (рис. 7) значительно меньше, чем на термограммах образцов 90 суточного хранения.



**Рис. 7.** Кривые ДТА вяжущей части пропаренных образцов (со штрихом) и образцов нормального твердения (без штриха), хранившихся 90 суток в условиях климата и далее в 3% растворе  $Na_2SO_4$  (номера кривых соответствуют указанным на рис. 5.)

Это, вероятно, объясняется тем, что в образцах, хранившихся 90 дней под воздействием климата, за счет усадочных деформаций образуются смежные волосяные трещины, образование которых ускоряет процесс диффузии ионов  $SO_4^{2-}$  из раствора вглубь цементного камня.

На основе проведенных исследований установлено:

- качественный состав новообразований под воздействием климатической среды не меняется;
- пропаренные образцы бетонных конструкций и образцы нормального предварительного твердения, отличающиеся начальной структурой по разному сопротивляются негативному воздействию климатической среды;
- дефекты, приобретенные в процессе, пропарки, под воздействием климата развиваются;
- деструкция наружных слоев образцов бетонных конструкций сопровождается развитием дефектов и во внутренних слоях.



## ЛИТЕРАТУРА

1. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Кочетков А.В., Васильев Ю.Э., Каменев В.В. Проблемы долговечности цементных бетонов // Строительные материалы. 2011. № 5. С. 38-41.
2. Рапопорт П.Б., Рапопорт Н.В., Полянский В.Г., Соколова Е.Р., Гарибов Р.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Анализ срока службы современных цементных бетонов // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/104-6559> (дата обращения: 02.07.2012).
3. Межнякова А.В., Овчинников И.Г. Методы оценки долговечности армированных конструкций при действии нагрузок и агрессивных сред // Промышленное и гражданское строительство. — 2008. — № 8. — С. 44–45.
4. Васильев Ю.Э., Полянский В.Г., Соколова Е.Р., Гарибов Р.Б., Кочетков А.В., Янковский Л.В. Статистические методы контроля качества при производстве цементобетона и цементобетонных смесей // Современные проблемы науки и образования. – 2012. – № 4; URL: <http://www.science-education.ru/104-6606> (дата обращения: 06.07.2012).
5. Янковский Л.В. К вопросу оценки и прогноза состояния цементных бетонов, эксплуатирующихся в условиях воздействия климата Урала и Сибири // Вестник ПНИПУ: Охрана окружающей среды, транспорт, безопасность жизнедеятельности. – 2012. – №2. – С. 86-95.